

ANALISA SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PROSES FRICTION STIR WELDING ALUMINIUM 5052

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE IN THE PROCESS OF FRICTION STIR WELDING ALUMINUM 5052

Tarmizi¹, Boy Prayoga²

¹Balai Besar Logam dan Mesin Bandung

²Jurusan Teknik Metalurgi, Unjani Bandung

tarmizi@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Friction stir welding (FSW) adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid state atau logam tidak meleleh saat dilakukan penyambungan. Metoda ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Proses ini banyak digunakan untuk material khususnya aluminium yang biasanya harus di heat treatment terlebih dahulu sebelum dilakukan pengelasan, metoda FSW ditemukan oleh W.Thomas dari The Welding Institute (TWI). Proses FSW dilakukan pada aluminium seri 5052 T0 dengan bentuk sambungan tumpul sebanyak 9 pelat. Parameter yang divariasikan adalah design bentuk pin dengan bentuk segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir. Selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi pengamatan uji radiografi, uji tarik, uji keras dan pemeriksaan metalografi. Hasil penelitian bahwa dengan variasi bentuk pin segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik meningkat serta terjadi penurunan pada pin segitiga ulir. Dari variasi ini hasil kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada silinder ulir sebesar 38.27 HV dan 120.442 MPa

Kata kunci: silinder ulir, segitiga ulir, kerucut ulir

ABSTRACT

Friction stir welding (FSW) is solid state joining technique or the metal didn't melt when joining process. This method is used the characteristic of the parent metal has not change. This process is widely used for materials, especially aluminum heat treatment usually must be done first before welding, FSW method invented by The Welding Institute W. Thomas from the welding institute (TWI). Friction stir welding process is used to aluminum 5052 T-0 to form butt joint as much as nine plate. Parameter which varied is pin design form with form triangle, cylinder and cone with screw. The next testing which includes the observation radiography test, tensile test, hardness test and metallography examination. The results of the study that the variation of the form triangle screw, cylinder screw and cone screw cause hardness value and tensile strength increase and a decrease to triangle screw. Of variation this thesis hardness and tensile strength was highest in cylinder screw as big as 38.27 HV and 120.442 MPa

Keywords : Cylinder screw, triangle screw, cone screw

PENDAHULUAN

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap karat. Aluminium memiliki keuletan yang baik pada kondisi yang dingin dan memiliki daya tahan korosi yang tinggi. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang transportasi, kimia, listrik, bangunan dan alat – alat penyimpanan. Aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang kurang baik dan bisa disebut buruk daripada jenis logam

yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh sifat aluminium itu sendiri sebagai konduktifitas panas yang tinggi, koefisien muai yang besar, reaktif dengan udara membentuk lapisan aluminium oksida serta berat jenis dan titik cairnya yang rendah.

Aluminium terdiri dari beberapa kelompok yang dibedakan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Aluminium seri 5xxx merupakan

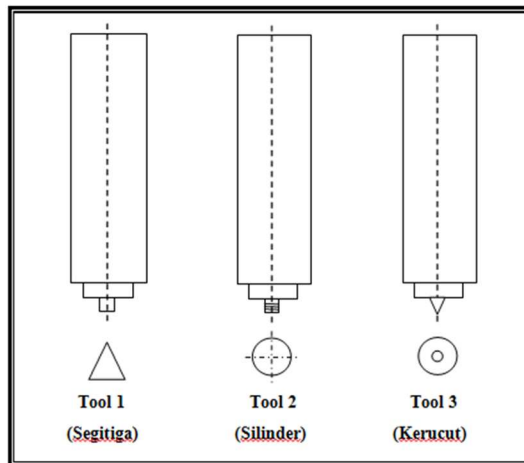
paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini mempunyai sifat *corrosion resistance* yang baik. tetapi memiliki sifat mekanis yang cukup tinggi yaitu tegangan tarik maksimum 228 MPa dan tegangan luluh 193 MPa. Material jenis ini banyak sekali digunakan untuk aplikasi pada temperatur rendah (kapal), pesawat terbang, peralatan rumah tangga dan struktur otomotif.

Pada umumnya penyambungan aluminium dilakukan dengan menggunakan proses pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW) atau *gas metal arc welding* (GMAW). Aluminium mempunyai sifat mampu las yang buruk dari pada baja dikarenakan lapisan oksida pada permukaan aluminium yang menjadi pelindung terhadap korosi. Masalah yang timbul pada pengelasan aluminium tersebut akan diatasi dengan pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW), karena pengelasan ini tidak menggunakan busur las.

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses penyambungan material dengan kondisi *solid* atau dengan kata lain logam tidak meleleh saat dilakukan penyambungan. Metode ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Proses ini banyak digunakan pada material khususnya Aluminium yang biasanya harus di heat treatment terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan jika pengelasan dilakukan dengan pengelasan busur (*arc welding*). Metode FSW ditemukan oleh W.Thomas dan rekan-rekannya dari *The Welding Institute* (TWI), Cambridge pada tahun 1991. Metode pengelasan ini telah banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, otomotif, perkapalan dan industri komersial lainnya karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pengelasan konvensional lainnya. Kelebihan-kelebihan itu diantaranya proses pengelasan ini memiliki tingkat distorsi yang rendah, tidak memerlukan logam pengisi tidak memerlukan gas pelindung dan tidak menghasilkan asap

Alumunium Seri 5052 merupakan logam yang banyak digunakan di industri kedirgantaraan, namun termasuk logam yang sukar untuk disambung dengan pengelasan, *friction stir welding* merupakan

metode pengelasan baru yang dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut, untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bentuk dan dimensi dari probe/tool terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada pengelasan FSW pada material Aluminium 5052. Adapun bentuk dan desain dari probe/tool yang akan digunakan seperti pada Gambar 1.



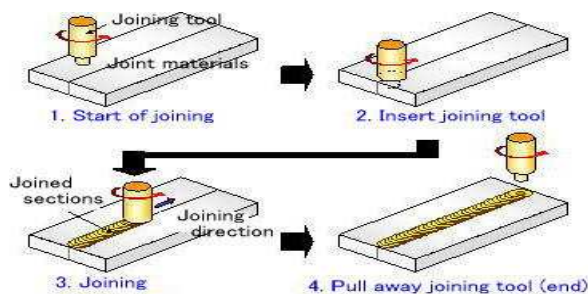
Gambar 1. Shoulder dengan bentuk pin berulir

Proses pengelasan logam secara makro diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu: (1) *Liquid state welding* (LSW), dan (2) *Solid state welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam yang dilakukan dalam keadaan cair, sedangkan SSW merupakan proses las di mana pada saat pengelasan, logam dalam keadaan padat. Pengelasan logam secara LSW maupun SSW mempunyai beberapa teknik/metode.

Aluminium memiliki titik lebur 660 °C namun pada prinsip kerja suhu pengelasan dengan metode ini adalah 70% hingga 90% dari titik lebur aluminium, Oleh karena adanya gesekan aduk pada pengelasan ini menimbulkan adalah baik deformasi dan proses termal. Suhu maksimum yang di capai pada Pengukuran termokopel selama FSW paduan aluminium menunjukkan bahwa, secara umum, suhu tetap di bawah 500 °C. hasil ini harus diperlakukan dengan hati-hati, karena posisi termokopel dalam nugget bergerak cepat sulit untuk memastikan, suhu maksimum biasanya terletak di antara 425 °C dan 500 °C. Dengan adanya suhu yang lebih rendah ini, maka akan menghasilkan daerah HAZ yang

minim dan akan mengurangi tingkat *ductility* dibandingkan metode GTAW. Metode *friction stir welding* ini juga minim distorsi dibandingkan GMAW [C. J. Dawes, 1995].

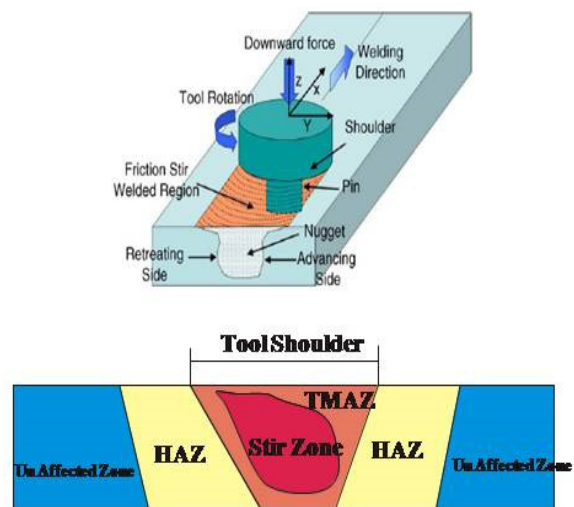
Friction stir welding adalah salah satu proses *solid-state welding*, dimana pada saat proses menimbulkan gaya gesek pada logam serta panas dari alat yaitu shoulder yang di letak ujungnya terdapat pin berputar bergerak di sepanjang permukaan material melaju ke arah dua material yang telah dijepit seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Panas yang dihasilkan oleh gesekan shoulder pada permukaan dan ke daerah yang lebih dalam sampai permukaan pin sehingga dapat melunakan material yang dilas dan menghasilkan deformasi plastis pada aliran logam plastis yang terjadi sepanjang arah pengelasan. arah rotasi adalah sama dengan pengelasan disebut gerak maju, adapun arah rotasi dengan pihak lain sebagai sisi mundur. Perbedaan ini dapat menyebabkan asimetri dalam perpindahan panas, aliran material dan sifat dari dua sisi las, dengan demikian, kekerasan khususnya paduan aluminium umumnya cenderung pengerasan terjadi lebih rendah di zona yang terkena panas.



Gambar 2. Proses friction stir welding.

FSW melibatkan interaksi kompleks antara berbagai *simultaneous thermomechanical processes*. Interaksi mempengaruhi pemanasan dan tingkat pendinginan, deformasi plastis dan aliran, rekristalisasi dinamis fenomena dan mechanical joint. Sebuah daerah khas FSW gabungan terdiri dari sejumlah zona seperti pada Gambar 3. Daerah yang terkena panas (HAZ) mirip dengan yang di las konvensional meskipun suhu maksimum secara signifikan kurang dari suhu solidus, dan panas dari sumber gesekan akan menyebar. Hal ini dapat menyebabkan adanya perbedaan struktur

mikro bila dibandingkan dengan proses pengelasan fusi.

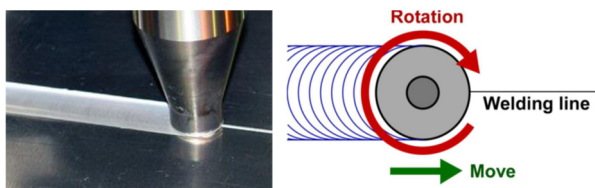


Gambar 3. Skema proses friction stir welding

Wilayah *nugget* tengah disebut "*onion ring*" yang merupakan salah satu yang mengalami deformasi paling besar dampaknya, dan merupakan sebuah hasil di mana ulir shoulder melakukan penetrasi dari depan serta melaju ke belakang las. Daerah *thermo mechanically affected zone* (TMAZ) terletak di antara HAZ dan nugget, yang butiran mikro asli dapat di lihat pada daerah ini, ciri dari proses pengelasan FSW adalah bahwa adanya fenomena panas dihasilkan oleh putaran shoulder selanjutnya adanya penetrasi terhadap material dan gerak laju sehingga menghasilkan aliran plastis pada daerah yang terkena dari shoulder yang berputar. Panas yang di hasilkan juga bergantung pada sifat material serta variabel pengelasan termasuk kecepatan rotasi (rpm) dan geometri. Serta efek dari pemanasan dan pendinginan juga harus dipertimbangkan.

Rotasi Tool dan Kecepatan Melintang. Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi jalur pengelasan (*joint line*). Gerakkan *tool* ditunjukkan pada Gambar 4. Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang

memuaskan. Hubungan antara kecepatan pengelasan dan masukan panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone*, dan kemungkinan *tool* akan rusak. Tetapi masukan panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material. Oleh sebab itu dalam menentukan parameter harus benar-benar cermat, masukan panas harus cukup tinggi tetapi tidak terlalu tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan.



Gambar 4. Arah pengelasan *friction stir welding*

Proses penyambungan terjadi dengan pelunakan *base metal* akibat input panas yang dihasilkan dari gesekan antara pin beserta *shoulder* dengan *base metal*. Panas ini bersama panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis dan panas adiabatik dalam material, menyebabkan material adukan untuk melunak tanpa mencapai titik lelehnya. Dengan kombinasi antara gerak rotasi dan gerak translasi *tool* menyebabkan material yang lunak tersebut berpindah dari sisi depan pin menuju sisi belakang pin dengan menerima tekanan tanpa dari pin dan *shoulder*, sehingga terbentuklah sambungan las (*weld joint*).

Penampang makro dari daerah logam las pada *friction stir welding* dapat dibagi beberapa bagian seperti pada Gambar 5, yaitu :

Base metal/Parent Metal merupakan bagian dari base metal yang tidak terkena

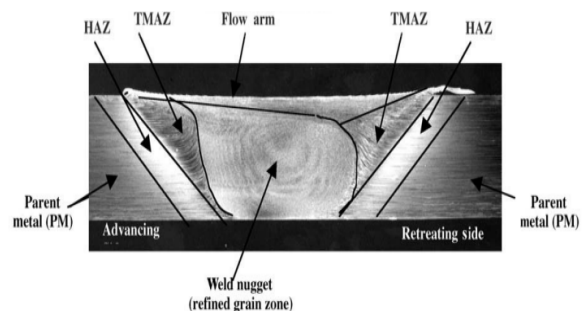
pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.

Heat Affected Zone (HAZ), merupakan daerah yang paling dekat dengan lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus *thermal* yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari *basemetal*.

Thermo Mechanically Affected Zone (TMAZ), merupakan daerah yang terdeformasi plastis oleh *tool*, dan panas pada area ini dihasilkan pada proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi, dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.

Flow Arm Zone adalah area yang terseret adukan oleh *shoulder* yang menjadi batas pengelasan dari *friction stir welding*.

Weld Nugget/Weld Metal adalah area yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang area ini disebut juga dengan *stir zone*. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tools*.



Gambar 5. Penampang makro hasil *Friction Stir Welding*

Pada proses FSW ini parameter proses yang menentukan kualitas dari hasil lasan adalah sebagai berikut seperti pada Gambar 6:

Rotational speed (rpm) adalah kecepatan putaran *probe* per menit. Kecepatan putaran yang tinggi dapat meningkatkan *strain rate* dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi. Putaran yang tinggi menghasilkan

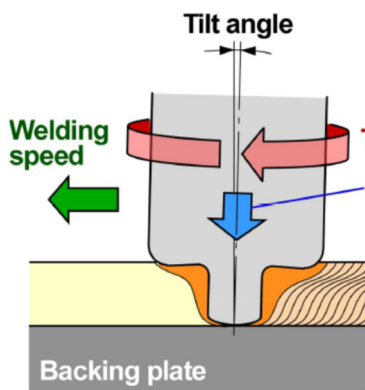
temperatur yang tinggi dan tingkat pendinginan yang lambat pada FSW.

Welding speed (mm/s) memiliki peranan vital dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Dengan *welding speed* yang rendah akan menghasilkan sambungan dengan kuat tarik yang tinggi. Tetapi jika *welding speed* terlalu tinggi dari batas yang ditentukan maka akan timbul banyak cacat las.

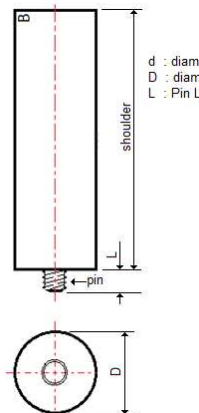
Axial force (KN), Tekanan *tool* adalah gaya tekan *tool* ke dalam aluminium. Pada tugas akhir ini, gaya tekan ini digantikan dengan *shoulder depth plunge* (mm) karena pengukuran *axial force* sulit dilakukan dalam penelitian ini.

Tool geometry, seperti pada Gambar 7.

- D/d ratio of tool
- Pin length (mm)
- Tool shoulder diameter, D (mm)
- Pin diameter, d (mm)
- Tool inclined angle (degrees)



Gambar 6. Skema proses *friction stir welding*



Gambar 7. Geometri tool

Selain itu ada 3 fungsi dari *tool*, yaitu :

1. Memanaskan benda kerja dengan gesekan dan gaya yang diberikan.
2. Memindahkan material yang sudah semi cair ke lokasi baru untuk menghasilkan sambungan.
3. Sebagai penahan material panas yang berada di bawah *shoulder*.

Panas yang terjadi membuat material yang ada disekitar *probe* menjadi lunak dan akibat adanya gerak rotasi dan translasi dari *tool* material yang ada di depan *probe*

bergerak kebelakang *probe* dan ini terjadi terus menerus selama gerak translasi berlangsung dan menghasilkan sambungan yang diinginkan.

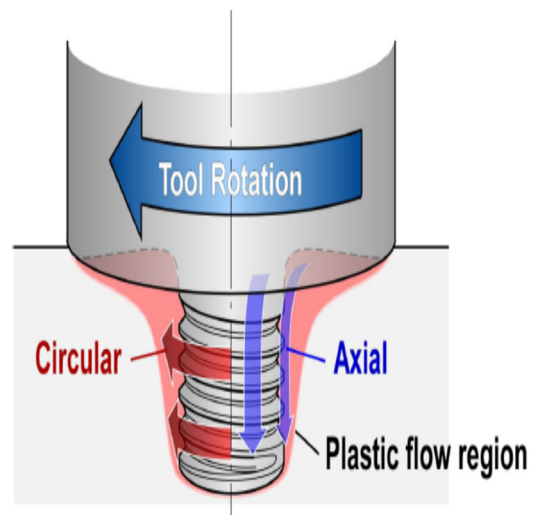
Pada saat proses FSW dilakukan, terdapat gaya-gaya yang bekerja pada *tool* seperti pada Gambar 8, yaitu :

Downward forces merupakan gaya yang diberikan mesin kepada *tool* yang lalu diteruskan ke benda kerja dan berfungsi untuk menjaga kontak antara *tool* dengan benda kerja sehingga tingkat penetrasi dan panas yang dihasilkan tetap terjaga selama proses berlangsung.

Traverse forces adalah gaya yang bekerja paralel dengan gerakan translasi dari *tool*, dan merupakan gaya positif yang dihasilkan akibat gerakan translasi dari *tool* itu sendiri.

Lateral forces adalah gaya yang bekerja tegak lurus dengan arah gerak translasi dari *tool*, hal ini timbul karena adanya kemiringan dari *tool*.

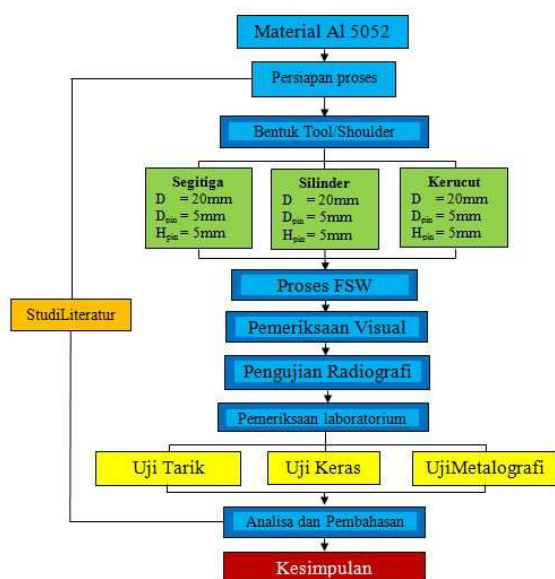
Torque adalah sejumlah gaya yang timbul akibat adanya gerak putar *tool* dan resistansi material pada saat proses FSW berlangsung.



Gambar 8. Arah putaran tool (*tool rotation*)

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian percobaan pengelasan dan pengujian yang diperlukan untuk menghasilkan data dan analisa yang urutan prosesnya seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema penelitian

Material yang digunakan pada proses pengelasan ini yaitu aluminium 5052 berupa pelat dengan ketebalan 6 mm, panjang 300 mm dan lebar 150 mm sebanyak 6 buah. Mesin yang digunakan pada pengelasan friction stir welding ialah mesin *freis* vertical. Parameter pengelasan friction stir welding yang digunakan yaitu :

Rotational speed (*rpm*) adalah kecepatan putaran probe per menit. Kecepatan putaran yang tinggi dapat meningkatkan *strain rate* dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi. Putaran yang tinggi menghasilkan temperature yang tinggi. *Rotational speed* (*rpm*) yang digunakan pada proses ini sebesar 1500 rpm.

Welding speed, memiliki peranan penting dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Kecepatan las merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas sambungan yang dihasilkan karena parameter kecepatan putaran berpengaruh terhadap input panas yang dihasilkan pada material bahan. *Welding speed* yang digunakan pada pengelasan ini sebesar 10 mm/menit

Axial force (tekanan tool) adalah gaya tekan tool ke dalam aluminium, pada proses pengelasan ini gaya tekan digantikan dengan *shoulder depth plunge* (mm) karena pengukuran *axial force* sulit dilakukan

Tool geometry : adalah design tool yang digunakan dalam proses pengelasan seperti pada Gambar 10 dan dimesin tool adalah sebagai berikut :

- Panjang Pin : 5 mm
- Diameter Pin : 5mm
- Diameter Tool shoulder : 20 mm
- *Ratio of tool* : $\frac{1}{4}$



Gambar 10. Bentuk Pin FSW

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang digunakan pada tool untuk proses *Friction Stir Welding* yaitu baja AISI H13. Baja AISI H13 merupakan salah satu baja perkakas pengerjaan panas yang paling sering digunakan. Baja ini memiliki kombinasi kekuatan, ketahanan aus, dan ketangguhan yang sangat baik serta titik cair yang tinggi.

Ditinjau dari sifat baja AISI H13, baja tipe ini cocok digunakan untuk tool *friction stir welding*. Bentuk dan ukuran material awal untuk tool seperti pada Gambar 10. Pada proses *Friction Stir Welding* ini menggunakan 3 bentuk tool dan ukuran yang sama, dan bentuk pin yang berbeda, dimana bentuknya adalah sebagai berikut :

- Pin tool 1 = Segitiga
- Pin tool 2 = Silinder (ulir)
- Pin tool 3 = Kerucut

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur paduan yang terkandung pada material aluminium, dari hasil pengujian komposisi kimia material aluminium didapatkan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia aluminium 5052

Unsur	Komposisi kimia (% berat)	
	Pengujian	Standar
Cu	0.10	0.10
Mg	2.2	2.2-2.8
Si	0.25	0.25
Fe	0,40	0,40
Mn	0.10	0.10
Zn	0,10	Max 0,25
Ti	0,02	Max 0,15
Cr	0,035	0.15
Al	99.14	Sisa

Aluminium adalah golongan dari jenis logam *Non Ferrous* yang memiliki kelebihan tertentu dibandingkan logam lainnya yang dipergunakan dalam dunia industri, aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam, selain itu aluminium juga mempunyai sifat mampu bentuk (*Wrought alloy*) di mana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas (dengan peleburan).

Karena sifat-sifat inilah maka banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, diantaranya dengan menambahkan unsur-unsur seperti : Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, baik dicampur secara satu persatu maupun secara bersama-sama, bahan-bahan tersebut juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan dalam bidang yang sangat luas, bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya, aluminium terbagi dalam dua jenis yaitu aluminium cetak atau cor (*cast product*) dan aluminium tempa (*wrought product*).

Paduan Aluminium 5052 merupakan paduan aluminium, dengan magnesium

sebagai elemen paduan utama. Hal ini digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi rasio berat, serta ketahanan lelah yang baik. Oleh karena itu pengelasan aluminium seri ini hanya melalui pengelasan gesekan, dan memiliki *machinability* rata-rata. Karena ketahanan korosi yang baik, tidak perlu adanya pelapisan dalam aluminium ini dan mempunyai kekuatan lelah yang tinggi (*high fatigue strength*) dan mempunyai kemampuan pengerjaan yang baik (*good work ability*).

Aplikasi aluminium 5052 biasa digunakan dalam pembuatan tabung hidrolik dan dalam bagian pesawat di gunakan untuk membuat tabung pesawat biasanya digunakan dalam pengerjaan lembaran logam (*sheet metal work*).

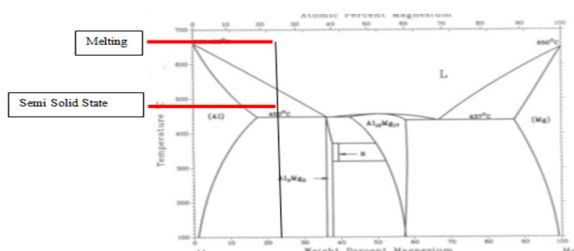
Pengaruh Mg di dalam paduan Al-Mg mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh Cu di dalam paduan aluminium. Magnesium larut sebagai fasa α , sedangkan diatas batas kelarutannya magnesium hadir dalam bentuk fasa β , fasa β merupakan fasa yang lunak dan berukuran besar, sehingga sedikit sekali menimbulkan efek pengerasan terhadap paduan.

Pengaruh penting dari elemen ini dalam paduan Al-Mg yaitu bersama dengan Si membentuk persenyawaan MgMn. Dengan adanya persenyawaan tersebut di dalam paduan Al-Mg maka sifat mekanis dapat ditingkatkan, karena kemungkinan mendapatkan pengaruh pengerasan akibat pengendapan, yaitu setelah dilakukan proses perlakuan panas terhadap paduan. Magnesium juga berpengaruh terhadap peningkatan ketahanan korosi pada Al-Mg, tetapi sebaliknya unsur ini mengurangi sifat mampu tuang dari paduan dan mempunyai kecenderungan yang tinggi untuk teroksidasi pada waktu peleburan paduan tersebut.

Pengaruh Mg di dalam paduan Al-Mg mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh Cu di dalam paduan aluminium. Magnesium larut sebagai fasa α , sedangkan diatas batas kelarutannya magnesium hadir dalam bentuk fasa β , fasa β merupakan fasa yang lunak dan berukuran besar, sehingga sedikit sekali menimbulkan efek pengerasan terhadap paduan.

Pengaruh penting dari elemen ini dalam paduan Al-Mg yaitu bersama dengan Si membentuk persenyawaan MgMn. Dengan adanya persenyawaan tersebut di dalam paduan Al-Mg maka sifat mekanis dapat ditingkatkan, karena kemungkinan mendapatkan pengaruh pengerasan akibat pengendapan, yaitu setelah dilakukan proses perlakuan panas terhadap paduan. Magnesium juga berpengaruh terhadap peningkatan ketahanan korosi pada Al-Mg, tetapi sebaliknya unsur ini mengurangi sifat mampu tuang dari paduan dan mempunyai kecenderungan yang tinggi untuk teroksidasi pada waktu peleburan paduan tersebut.

Terlihat pada Gambar 11, diagram fasa Al-Mg melting point (titik lebur) pada temperatur 660°C dan kondisi pada saat proses atau dalam keadaan semi solid state yaitu pada temperatur 484 °C sesuai dengan standar yang ditentukan.



Gambar 11. Diagram fasa Al-Mg

Dari data yang diperoleh pada saat proses pengelasan, maka didapatkan parameter pengelasan sebagai berikut :

Tabel 2. Parameter proses pengelasan

Jenis Material	Sambungan	Bentuk pin	Panjang Lasan (mm)	Kecepatan Las (mm/menit)	Kecepatan rotasi (Rpm)
Al 5052 T0	Butt joint	Kerucut ulir	350	10	1500
Al 5052 T0	Butt joint	Segitiga Ulir	350	10	1500
Al 5052 T0	Butt joint	Silinder Ulir	350	10	1500

Hasil pemeriksaan visual pada pengelasan *Friction Stir Welding* dengan

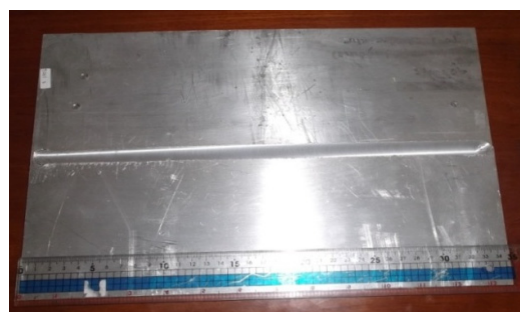
variasi bentuk pin segitiga ulir, silinder ulir, dan kerucut ulir dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini :



Hasil *friction stir welding* bentuk pin segitiga ulir



Hasil *friction stir welding* bentuk pin silinder ulir



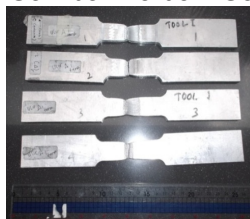
Hasil *friction stir welding* bentuk pin kerucut ulir

Gambar 12. Hasil proses pengelasan FSW

Hasil pemeriksaan Radiografi pada pengelasan *Friction Stir Welding* dengan variasi bentuk pin segitiga ulir, silinder ulir, dan kerucut ulir dapat memenuhi persyaratan uji radiografi sesuai dengan standar AWS D.17.3. *Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Hardware*.

Setelah spesimen hasil lasan telah lulus uji visual dan radiografi dilakukan pengujian sifat mekanik, struktur makro dan struktur mikro yang hasil ujinya sebagai berikut :

Hasil pengujian tarik seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut ini.

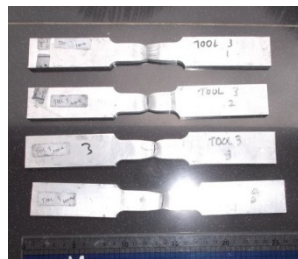


Hasil *friction stir welding* bentuk pin segitiga ulir



Hasil *friction stir welding* bentuk pin silinder ulir

Hasil *friction stir welding* bentuk pin kerucut ulir



Gambar 13. Spesimen hasil pengujian tarik



Gambar 14. Grafik hasil pengujian tarik

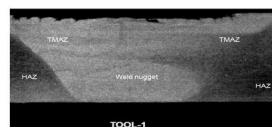
Dari data-data yang diperoleh pada hasil pengujian tarik yang dilakukan pada hasil lasan dengan pin segitiga, silinder dan kerucut seperti pada Gambar 14 terlihat bahwa hasil pengujian tarik putusnya di daerah *weld metal* yang tepatnya di daerah adukan yang dilakukan oleh pin. Hal ini terjadi karena sifat aluminium yang menurun kekuatannya akibat panas dari proses pengelasan.

Setelah proses FSW telah selesai dilakukan sesuai dengan prosedur maka tahap selanjutnya adalah pemeriksaan hasil pengelasan variasi bentuk pin yang telah dilakukan dengan menggunakan kecepatan gerak 10 (mm/menit) dan kecepatan putar 1500 rpm. Pada pemeriksaan ini pada bagian *face* pada semua variasi terlihat adanya efek gesekan dari *shoulder* pada material hal ini yang menjadi salah satu ciri dari proses pengelasan dengan metoda *friction stir welding* selanjutnya pada bagian *root* tertutup secara penuh menyatu dengan *base metal* hal ini menunjukkan bahwa antara *root* dan *face* sudah *fusi*.

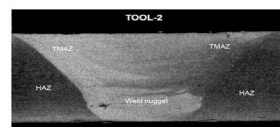
Dari grafik hasil uji tarik seperti pada Gambar 14 dapat terlihat bahwa kekuatan tarik maksimal yang didapat dari penelitian proses pengelasan *friction stir welding*

dengan bentuk pin silinder sebesar 120.442 Mpa. Hal ini dipengaruhi oleh efek penetrasi pin pada material sehingga proses pengadukannya lebih merata, jika dibandingkan dengan hasil pengujian tarik bahan dasar Al 5052 nilai kekuatan tariknya sebesar 299.978 Mpa. Pada penelitian ini terjadi penurunan sifat mekanik pada hasil lasan dikarenakan perubahan sifat material. Karena pada daerah lasan/*weld metal* terjadi perubahan bentuk struktur mikro terlihat pada Gambar 15 yang disebabkan oleh pengaruh heat treatment yang terjadi pada saat proses dan efek adukan yang dilakukan oleh pin di *shoulder* dan perbandingan antara pin silinder ulir dan kerucut ulir tidak terlalu signifikan jauhnya berbeda dengan pin segitiga ulir dikarenakan luas permukaan pin silinder ulir dan kerucut ulir lebih besar daripada pin kerucut ulir.

Struktur Makro dan Mikro

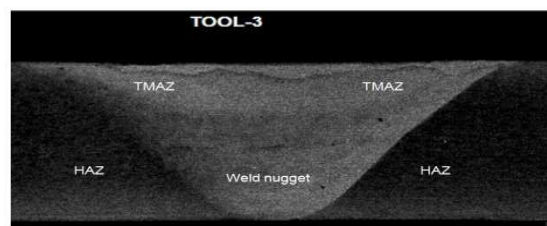


Hasil *friction stir welding* bentuk pin segitiga ulir



Hasil *friction stir welding* bentuk pin silinder ulir

Hasil *friction stir welding* bentuk pin kerucut ulir



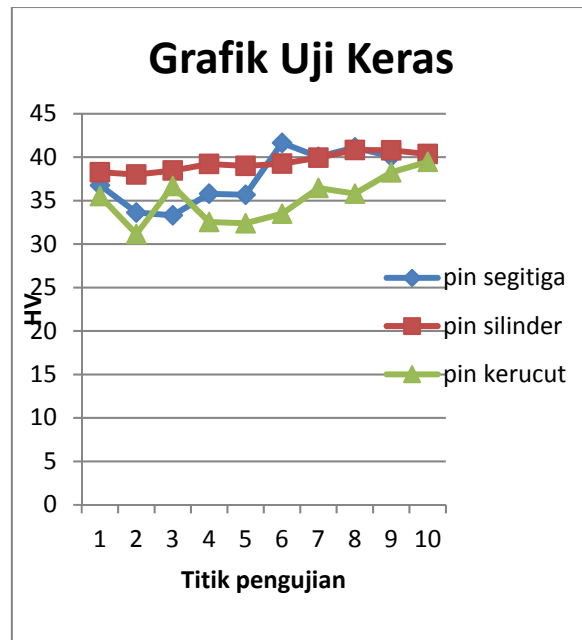
Gambar 15. Struktur makro logam las

Dari Gambar 15. hasil struktur makro di atas dapat dijelaskan sebagai berikut: Daerah las (*weld nugget*) daerah yang mengalami *deformasi plastis* dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan *rekristalisasi* yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. *Nugget* bentuknya bergantung pada parameter proses, pada daerah *weld metal* temperatur melting point Al 5052 X 80% yaitu 660 °C X 80% adalah 528 °C.

Thermomechanically affected zone (TMAZ) adalah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami *deformasi* struktur tetapi tidak terjadi *rekristalisasi*. *Heat affected zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami *siklus termal* tetapi tidak mengalami *deformasi plastis* dan perubahan sifat mekanik. Pada penelitian ini daerah HAZ tidak terjadi perubahan struktur mikro yang signifikan karena temperatur yang rendah di anggap tidak ada perubahan struktur mikro pada daerah HAZ, pada daerah HAZ temperturnya di bawah 528 °C. *Base metal* (BM) atau logam induk merupakan daerah yang tidak terpengaruh terhadap *siklus termal* atau pengaruh panas selama proses *friction stir welding* berlangsung.

Titik cair Al 5052 660 °C sedangkan temperatur *semi solid state* atau pada proses pengelasan daerah *weld metal* 520 °C sedangkan pada penelitian *friction stir welding* kemungkinan temperatur 400 °C dengan menggunakan alat *thermocouple*, oleh karena itu pada daerah HAZ kecil sekali perubahan fasa yang terjadi atau di anggap tidak ada perubahan pada daerah HAZ.

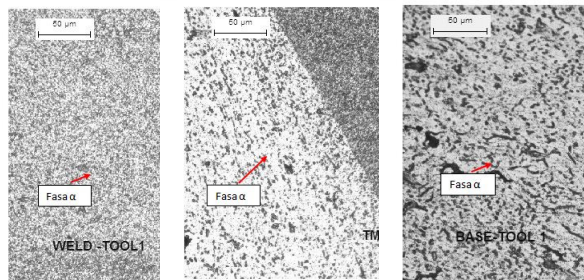
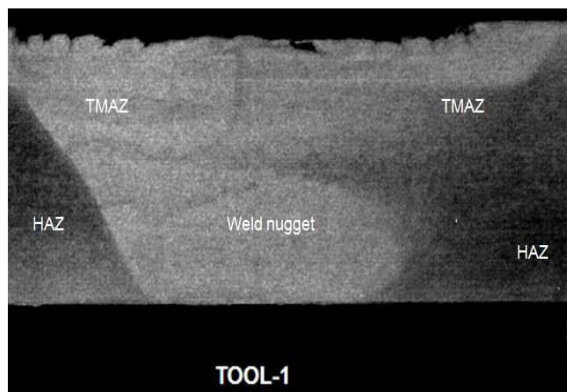
Nilai kekerasan yang dihasilkan dari hasil pengelasan dengan bentuk pin silinder lebih besar jika dibandingkan dengan hasil lasan bentuk pin kerucut dan segitiga dimana nilai kekerasan pada daerah pada daerah *weld metal* dengan bentuk pin silinder sebesar 38.13 HV dan daerah lasan dengan bentuk pin segitiga dan kerucut rata-rata sebesar 34.56 dan 33.97. Terlihat bahwa bentuk berpengaruh terhadap nilai kekerasan hasil lasan, terlihat pada Gambar 16 kurva perbandingan uji keras terlihat pada pin segitiga ulir pada titik 1-4 perubahan nilai kekuatan kekerasan pada daerah *base metal* terlalu jauh di karena pada saat proses pengujian indentor yang digunakan salah atau pengujian kekerasan tidak sesuai dengan prosedur yang dianjurkan.



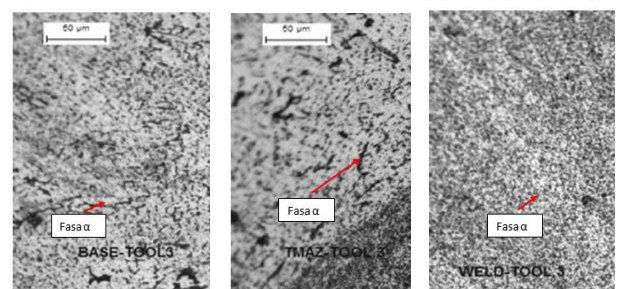
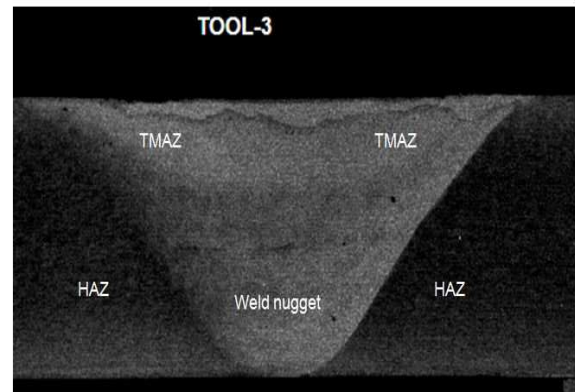
Gambar 16. Hasil Uji Kekerasan Logam Las

Struktur mikro

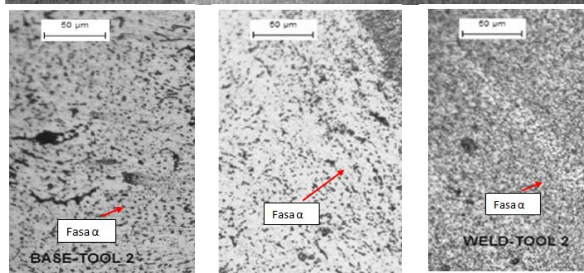
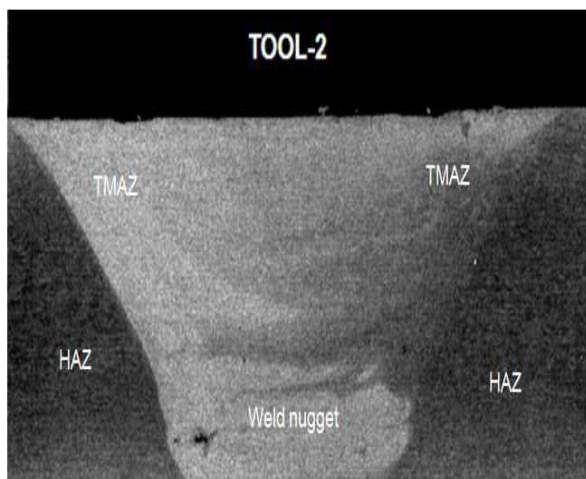
Pada pemeriksaan mikro dilakukan pada daerah *Weld*, *Tmaz* dan *Base metal*. Spesimen di etsa menggunakan cairan kimia *keller's regent*. Pada *base metal* dimensi dan bentuk butir orientasinya masih sama dengan hasil *cold working* atau proses pembentukan awal, dapat dilihat bentuk butir yang tampak pada daerah *base metal* berbentuk pipih dan panjang searah dengan arah *roll*. Pada proses *friction stir welding* daerah HAZ tidak terlihat atau tidak ada karena terlihat pada daerah struktur mikro daerah HAZ dan base metal tidak terjadi perubahan. Daerah TMAZ daerah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami *deformasi* struktur tetapi tidak terjadi *rekristalisasi*. Daerah *weld* adalah daerah yang mengalami *deformasi plastis* dan pemanasan selama proses *friction stir welding* sehingga menghasilkan *rekristalisasi* yang merubah butir menjadi halus seperti terlihat pada Gambar 17, 18 dan 19 hasil struktur mikro logam las.



Base Metal TMAZ Weld Nugget
Gambar 17. Struktur mikro hasil lasan pin segitiga ulir



Base Metal TMAZ Weld Nugget
Gambar 19. Struktur mikro hasil lasan pin kerucut ulir



Base Metal TMAZ Weld Nugget
Gambar 18. Struktur mikro hasil lasan pin silinder ulir

KESIMPULAN

Dari hasil pengelasan metoda *friction stir welding* dengan variasi bentuk pin dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut :

Metode *friction stir welding* dapat digunakan untuk menyambung material Aluminium 5052 – T0.

Hasil kekuatan tarik maksimum didapat pada bentuk pin silinder ulir dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 120,442 MPa dan hasil uji kekerasan maksimum pada logam las sebesar 39,22 HV berbanding lurus dengan kekuatan tariknya.

Sifat mekanik hasil lasan dari ketiga jenis pin sedikit berbeda baik hasil uji tarik maupun hasil uji kekerasan hal ini disebabkan perbedaan luas permukaan ketiga pin tersebut (luas permukaan pin silinder ulir dan kerucut ulir lebih besar daripada segitiga ulir), sehingga menghasilkan luas daerah logam las yang sedikit berbeda sehingga mempengaruhi struktur dan kekuatan daerah logam las.

Hasil struktur mikro tool 2 (pin silinder ulir) menghasilkan struktur butir yang lebih halus dibandingkan dengan tool 1 dan tool 3.

SARAN

Pastikan kerapatan sambungan material yang akan disambung, karena akan mempengaruhi penetrasi dan kualitas hasil lasan.

Untuk memastikan panas pada daerah *weld metal* dilakukan pengukuran temperatur pada daerah weld metal agar temperatur yang bekerja dapat diketahui secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adit, 2012, "pengaruh bentuk pin ulir soulder pada pengelasan silimar Al 2024 T3 dengan metode *friction stir welding*, Teknik Metalurgi Unjani", hal 20.
- Deni, 2014, "analisa sifat mekanik dan struktur mikro sambungan pada alumunium seri 2024 T3 menggunakan *friction stir welding* dengan variasi kecepatan gerak, Teknik Metalurgi unjani, hal 35.
- Odi, 2014, "perencanaan pembuatan tool untuk proses *friction stir welding* pada material alumunium , Teknik Metalurgi Unjani, hal 45.
- Andri, 2012, "pengaruh kecepatan rotasi (rpm) shoulder pada pengelasan silimar Al 2024 T3 dengan metode *friction stir welding*, Teknik Metalurgi Unjani, hal 22.
- Therry Khaled, PH.D *An outsider look at friction stir welding report*, hal 56.
- R.Zettler, J.F dos santos, T donath, F beckham, Tlippmann, D lohwasser and A.scheyer, *Valdation of maker material flow in 4mm thick friction stir welded Al-2024 T-351 as reported by computed micromography using standard metallographic techniques*, hal 45.
- R.Rai, A.De, H.K..D.H.Bhadesihia and T.Debroy *review friction stir welding tools*.
- P L Threadgill and P J Withers, *Friction stir welding of aluminium alloys. TWI, Granta Park, Great Abington CB21 6AL, UK, School of Materials, University of Manchester, Grosvenor Street, Manchester M1, UK* hal 87.
- The approval friction stir welding in aluminium, American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature of the State of New York 1862* hal 92.
- Aluminium Now 1(2003)1. Jan/Feb. *Ford Suspension Link the First Auto Part to be Friction Stir Welded. In: www.aluminum.org*
- Technical Handbook Friction welding stir, ESAB* hal 56.
- ASME, *Friction Stir Welding (FSW) added as an acceptable welding process for VIII-1 construction*. Hal 76.
- Principal Type of Standard Alloy Steels (Smith, 1996) by Computed Microtomography using Standard Metallographic Techniques* hal 45
- Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Hardware, AWS D17.3/D17.3M:200X An American National Standard*, hal 32.
- The approval pf *friction stir welding* in aluminium, American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature of the State of New York 1862, hal 44.
- Aluminium Now 1(2003)1. Jan/Feb. *Ford Suspension Link the First Auto Part to be Friction Stir Welded. In: www.aluminum.org*.
- ASME, *Friction Stir Welding (FSW) added as an acceptable welding process for VIII-1 construction*. Hal 76.
- ASME, *Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)* 1998 Edition, Section 5, Article 6, Subparagraph T-653.2 W. M. Thomas, E. D. Nicholas, J. C. Needham, M. G. Murch, P. Templesmith and C. J. Dawes: 'Friction stir butt welding', US Patent 5460317, 1995. Hal 92
- C. J. Dawes and W. M. Thomas: 'Friction stir process welds aluminum alloys', *Weld. J.*, 1996, 75, (3), hal 41–45.
- E. D. Nicholas and W. M. Thomas: 'A review of friction processes for aerospace applications', *Int. J. Mater. Prod. Technol.*, 1998, 13, (1–2), hal 45–55.
- W. M. Thomas, P. L. Threadgill and E. D. Nicholas: 'Feasibility of friction stir welding steel', *Sci. Technol. Weld. Join.*, 1999, 4, (6), 365–372. hal 129

- W. M. Thomas: 'Friction stir welding – recent developments', Mater. Sci. Forum, 2003, 426–432, 229–236.hal 67
- Microstructural Development in Friction Stir Welding R.W. Fonda, 1 hal 78.
- Validation of Marker Material Flow in 4mm Thick Friction Stir Welded Al 2024-T351 as reported by Computed Microtomography using Standard Metallographic Techniques hal 89.
- ASM Handbook, 1993, Vol 7, Al 2024 T3," pp. 246.4 hal 111
- ASTM International, E8/E8M-13a Standard Test Methods Tension hal 132.
- ASTM International E384, Westmoreland Mechanical Testing & Research, Inc. hal 32.
- Kurokawa.hideaki, 2012, "friction stir welding fundamental", Kawasaki heavy industry.
- Kurokawa.hideaki, 2012, "friction stir welding aplication", Kawasaki heavy industry.
- Krauss, G., 1995, Principles of Heat Treatment of Steel, American Society for Metals, Ohio, USA hal 88
- Steel metalindo, Standard AISI h-13 tool steel, jawa barat.
- Steel metalindo, Standard alumuniun 5052, jawa barat.